

УДК 621.396

А.А. Федотов, В.Ф. Шпак

МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ЗАТРАТ НА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Федотов Александр Алексеевич, доктор технических наук, доцент, окончил Даугавпилское высшее военное авиационное инженерное училище, факультет радиоэлектронного оборудования. Директор Дирекции «МФИ-М» ОАО «Концерн «Моринсис-Агат». Имеет монографию, главы специальной учебной литературы, статьи в журналах и сборниках по тематике радиолокационных устройств и систем, обработки сигналов, системотехники. [e-mail: mfi-m@concern-agat.ru].

Шпак Владимир Федорович, кандидат технических наук, окончил Таганрогский радиотехнический университет, факультет радиотехнических систем. Начальник лаборатории научно-технического центра ОАО Таганрогский научно-исследовательский институт связи. Имеет статьи в журналах и сборниках по тематике радиотехнической разведки, радиоэлектронной борьбы. [e-mail: niis@pbox.ttn.ru].

Аннотация

Предлагается простой метод минимизации временных затрат на решение задачи классификации образов радиотехнических сигналов до уровня логарифмической зависимости времени классификации от размерности архива радиоэлектронных средств (РЭС).

Ключевые слова: классификация образов, радиоэлектронные средства, радиотехнические сигналы

Alexander Alexeevich Fedotov, Doctor of Engineering, Associate Professor, graduated from Daugavpils Higher Military Aviation Engineering School and the Faculty of Avionics Equipment; director of 'MFI-M' Management of JSC 'Concern 'Morinformsystem-Agat'; author of monograph, chapters of professional study materials, articles in the field of radar and radar systems, signal processing, and system engineering. e-mail: mfi-m@concern-agat.ru.

Vladimir Fedorovich Shpak, Candidate of Engineering, graduated from Taganrog Radioengineering University and the Faculty of Radioengineering Systems; head of a laboratory at the scientific and technical centre of Joint Stock Company 'Telecommunications Research and Development Institute'; author and contributor of articles in the field of Electronic Intelligence and Electronic Warfare. e-mail: niis@pbox.ttn.ru.

Abstract

The article presents a simple method of time minimization for solutions of a pattern classification of electronic signals problem up to level of logarithmic dependence of time classification on archives size of radio electronic means.

Key words: pattern classification, radio electronic means, electronic signals.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время увеличивается разнообразие средств нападения, особенно с применением высокоточного оружия. Постоянно появляются новые системы с радиолокационным, радиокомандным, лазерным, оптическим, телевизионным и другими каналами наведения, в том числе и комбинированными. Соответственно повышаются требования по эффективности радиоэлектронной борьбы. Быстрая и точная классификация данных средств наведения в реальном масштабе времени является основной предпосылкой успешного противодействия данному оружию.

Исходной информацией для решения задач классификации образов радиотехнических сигналов является множество объектов (радиоэлектронных средств), раз-

деленных по совпадению параметров на определенные типы (классы \mathcal{R}_i). Классы \mathcal{R}_i объединяются в специальный архив РЭС.

СПОСОБ КЛАССИФИКАЦИИ ОБРАЗОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Для решения рассматриваемой задачи требуется построить алгоритм, способный классифицировать, т. е. указать номер \mathcal{R}_r , к которому относится произвольный объект (образ радиотехнического сигнала Φ_k) из исходного множества.

В [1] предлагается решать задачу классификации образов радиотехнических сигналов на основе определения двух вероятностных характеристик.

Первая вероятность $P_i^k \{ \Phi_k | \mathcal{R}_i \}$ отражает уровень соответствия образа сигнала Φ_k классу \mathcal{R}_i , если имело место событие излучения сигналов РЭС типа \mathcal{R}_i .

Вторая вероятность $\tilde{P}_i^k \{ \mathcal{R}_i | \Phi_k \}$ отражает уровень правомерности отнесения РЭС типа \mathcal{R}_i к событию излучения образа сигнала Φ_k .

Вероятность P_i^k определяется следующим образом. Для каждого k -го образа сигналов из архива РЭС выбирается станция, параметры которой в наибольшей степени соответствуют параметрам его формуляра

$$\Phi_k \{ \alpha_1^k, \alpha_2^k, \dots, \alpha_j^k, \dots, \alpha_m^k \},$$

где α_j^k – j -й параметр k -го образа сигналов, k изменяется от 1 до n , а n определяет размерность потока формуляров.

Архив РЭС содержит множество паспортных данных известных станций, согласно которым для каждого j -го параметра станции определяется диапазон его возможных отклонений от среднего значения $[\beta_{ij\min}; \beta_{ij\max}]$.

Кроме этого, данный диапазон дополняется удвоенной величиной среднеквадратичного отклонения σ_{ij} (характеристика погрешности измерения аппаратуры обнаружения образов радиотехнических сигналов). В результате получаем следующую область сравнительного анализа α_j^k с β_{ij} (рис. 1).

Попадание параметра α_j^k в область 1 определяет степень его соответствия параметру β_{ij} , равную единице.

Попадание параметра α_j^k в область 2, 3 определяет степени соответствия, равные

$$1 - \frac{\beta_{ij\min} - \alpha_j^k}{2\sigma_{ij}} \quad \text{и} \quad 1 - \frac{\alpha_j^k - \beta_{ij\max}}{2\sigma_{ij}}. \quad (1)$$

Данная степень соответствия принимается как сравнительная характеристика принадлежности α_j^k к j -му параметру i -го типа РЭС каталога.

Значения ее могут определять вероятность P_{ij}^k соответствия j -го параметра k -го образа j -му параметру i -го типа РЭС.

Реально измерение параметра α_j^k выполняется с непредсказуемой и случайно изменяемой погрешностью. В силу этого степень соответствия α_j^k параметру β_{ij} в области 2 или 3 пропорциональна вероятности

$$P(x) = \frac{1}{\sigma^\nabla \sqrt{2\pi}} \int_0^{2\sigma_{ij}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \xi}{\sigma^\nabla} \right)^2} dx,$$

где $\sigma^\nabla = \frac{\sigma_{ij}}{3}$, $\xi = \sigma_{ij}$, $x = 2\sigma_{ij} - \Delta_{ij}^k$.

Полная степень соответствия по всем параметрам k -го образа сигналов i -му типу РЭС каталога пропорциональна вероятности P_i^k :

$$P_i^k = \frac{\sum_{j=1}^m P_{ij}^k}{m}. \quad (2)$$

Максимальное значение P_i^k на множестве $\{P_1^k, \dots, P_i^k, \dots, P_l^k\}$ определяет наибольшее соответствие k -го образа сигналов i -й станции, где l – размерность архива.

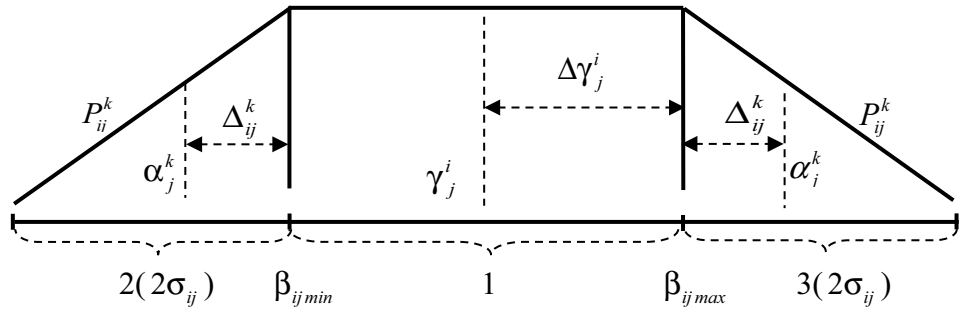


Рис. 1. Область сравнительного анализа

Следовательно, определение максимальной P_i^k для данного образа k является решением задачи выбора конкретной станции, которая в наибольшей степени подходит в качестве вероятного источника излучения сигналов, образующих k -й образ.

Вероятность \tilde{P}_i^k , как показано в [2, 3], можно определить по методу Г.В. Шелейховского.

Анализ методов классификации [4] показывает, что большие потери времени при решении задач классификации уходят на сопоставление по каким-либо критериям больших массивов объектов классов или кластеров определенного вида с объектами из исходного множества.

В рассматриваемом случае поиск максимального значения P_i^k простым перебором всех станций по времени будет зависеть от количества станций l в архиве РЭС и размерности входного потока формуляров n . В общем случае для всех типов РЭС \mathcal{R}_i и входного потока формуляров Φ_k временная сложность поиска будет пропорциональна произведению nl .

Однако такое решение задачи поиска требуемой станции типа \mathcal{R}_i в силу того, что размерность архива l может достигать 1000 и более станций, а n – нескольких сотен образов сигналов, приводит к большим временным затратам.

Пусть каждый тип станций архива РЭС характеризуется следующим набором параметров:

$$\mathcal{R}_i \{ \gamma_1^i, \gamma_2^i, \dots, \gamma_j^i, \dots, \gamma_m^i \},$$

где γ_j^i – среднее значение j -го параметра i -й станции,

$$\text{то есть } \gamma_j^i = \frac{\beta_{ij \max} + \beta_{ij \min}}{2}.$$

Из (1) следует, что максимальная степень соответствия образа сигнала $\Phi_k \{ \alpha_1^k, \alpha_2^k, \dots, \alpha_j^k, \dots, \alpha_m^k \}$ параметрам некоторой i -й станции архива будет при

$$\min \sum_j \frac{|\gamma_j^i - \alpha_j^k|}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i} \quad (3)$$

по отношению к другим станциям архива,

$$\text{где } \Delta\gamma_j^i = \frac{\beta_{ij \max} - \beta_{ij \min}}{2}.$$

Освободимся от модуля в выражении (3). С этой целью параметр α_j^k при условии $\alpha_j^k > \gamma_j^i$ перед использованием в формуле (3) будем уменьшать на величину $2(\alpha_j^k - \gamma_j^i)$.

После такого преобразования выражение (3) можно представить как разность сумм:

$$\min \left(\sum_j \frac{\gamma_j^i}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i} - \sum_j \frac{\alpha_j^k}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i} \right). \quad (4)$$

При этом задача поиска в архиве РЭС станции, которая в наибольшей степени подходит в качестве вероятного источника излучения сигналов, образующих k -й образ, то есть обеспечивающей максимальное значение P_i^k , сводится к поиску i -й станции, для которой значение выражения (4) будет минимально.

Пусть процесс заполнения архива параметрами новых станций организован так, что для каждой станции $\sum_j \frac{\gamma_j^i}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i}$ возрастает или, во всяком случае, не убывает с ростом значения порядкового номера расположения станций в архиве. Тогда процесс поиска для k -го образа соответствующей ему станции можно представить следующим образом:

а) определяются индексы $i_b = 1, i_e = l$ интервала выбора очередной станции для анализа соответствия ее параметров k -му образу сигналов;

б) определяется для граничных значений $i = 1$ или $i = l$ станции и k -го образа разность сумм (4);

в) если положительная разность сумм (4) меньше $\sum_j \frac{\Delta\gamma_j^i}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i}$, то процесс выбора станции завершается

и $P_i^k = 1$. В противном случае процесс выбора станции продолжается;

г) определяется индекс $i = \frac{i_b + i_e}{2}$ очередной станции для анализа;

д) определяется для i -й станции и k -го образа разность сумм (4);

е) если положительная разность сумм (4) меньше $\sum_j \frac{\Delta\gamma_j^i}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i}$, то процесс выбора станции завершается

и $P_i^k = 1$. В противном случае выполняется анализ знака разности сумм (4);

ж) если знак положительный, то $i_e = i$. При отрицательном знаке $i_b = i$;

з) повторять цикл выбора станции с шага г), пока разность $i_e - i_b$ не станет меньше 2;

и) выполнить расчет P_i^k для значения $i = i_e$ по формуле (1).

Нетрудно заметить, что временная сложность поиска по данному методу станции с максимальным P_i^k будет пропорциональна $\log_2 l$.

Определим временную сложность упорядочивания архива по критерию возрастания $\sum_j \frac{\gamma_j^i}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i}$.

Пусть в архиве уже находятся n станций, упорядоченных по возрастанию суммы $\sum_j \frac{\gamma_j^i}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i}$. Тогда место i

расположения в архиве новой $n + 1$ станции будет определяться выражением:

$$\min \left| \sum_j \frac{\gamma_j}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i} - \sum_j \frac{\gamma_j^i}{2\sigma_{ij} + \Delta\gamma_j^i} \right|, \quad (5)$$

где $\gamma_j - j$ -й параметр новой $n + 1$ станции. Поиск i -й станции из архива, удовлетворяющей минимальному значению выражения (5), можно представить следующим образом:

а) определяются индексы $i_b = 1, i_e = l$ интервала выбора очередной станции для определения места расположения в архиве $n + 1$ станции;

б) определяется для граничных значений $i = 1$ или $i = l$ разность сумм (5);

в) если $i = l$ и разность сумм (5) равна нулю или положительная, то процесс определения места расположения в архиве $n + 1$ станции завершается и становится равным $i + 1$. Если $i = 1$ и разность сумм (5) отрицательная, то процесс определения места расположения в архиве $n + 1$ станции завершается и становится равным $i = 1$, а индексы последующих станций увеличиваются на 1. В остальных случаях процесс выбора места расположения $n + 1$ станции продолжается;

г) определяется индекс $i = \frac{i_b + i_e}{2}$ очередной станции из архива для анализа разности сумм (5);

д) определяется для i -й станции и $n + 1$ станции разность сумм (5);

е) если разность сумм (5) равна нулю, то процесс определения места расположения в архиве $n + 1$ станции завершается и становится равным $i + 1$. Индексы последующих станций увеличиваются на 1;

ж) если разность сумм (4) не равна нулю, то выполняется анализ знака разности сумм (4);

з) если знак положительный $i_b = i$. При отрицательном знаке $i_e = i$;

и) повторять цикл определения места расположения станции с шага г), пока разность $i_e - i_b$ не станет меньше 2;

к) если полученная на предыдущем шаге разность сумм (5) больше нуля, то место расположения $n + 1$ станции в архиве становится равным $i + 1$, в противном случае, если полученная на предыдущем шаге разность сумм (5) меньше нуля, то место расположения $n + 1$ станции в архиве становится равным i . Индексы последующих станций увеличиваются на 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, время загрузки архива новыми станциями в упорядоченной форме будет также пропорционально $\log_2 l$, а полное время решения задачи классификации с учетом автоматического заполнения его новыми станциями составит $n 2 \log_2 l$.

Например, для 100 образов сигналов и с архивом объемом в 1024 станции время решения задачи классификации сокращается с 102400 циклов поиска до 2000, то есть на несколько порядков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришков А.Ф., Кулаков А.А., Шпак В.Ф. Классификация образов радиотехнических сигналов // Вопросы специальной радиоэлектроники. – 2009. – Вып. 2. – С. 30–37.
2. Брэгман Л.М. Доказательство сходимости метода Г.В. Шелейховского для задачи с транспортными ограничениями // Журнал вычислительной математики и математической физики – 1967. – Т. 7, № 1. – С. 147–156.
3. Кряковский Б.С. Об одном подходе к решению задачи классификации в условиях неопределенности. – В/ч 10729. – 1986.
4. Кулаков А.А. Извлечение знаний. Состояние, проблемы, перспективы // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2009. – № 3–4 (39–40). – С. 42–66.